

М. А. Анкуда, ст. преп.;
 Д. С. Карпович, доц., канд. техн. наук;
 Н. М. Олиферович, ст. преп.
 (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СВОЙСТВА ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ

В основе работы полупроводниковых сенсоров на оксидных пленках используется эффект изменения электрического сопротивления некоторых полупроводниковых материалов (поверхностей монокристаллов, пленок), возникающего вследствие адсорбции газа. При появлении исследуемого газа на поверхности сенсора будет происходить процесс его окисления с последующим выделением электронов в обедненный поверхностный слой, что приведет к повышению его проводимости.

Простейший чувствительный элемент пленочного сенсора выполнен в виде пленки полупроводника (чаще всего металлоксидного) с двумя контактными площадками и двумя металлическими электродами, находящимися на диэлектрической подложке. При необходимости на последней изготавливается и тонкопленочный нагреватель (рис. 1) [1].

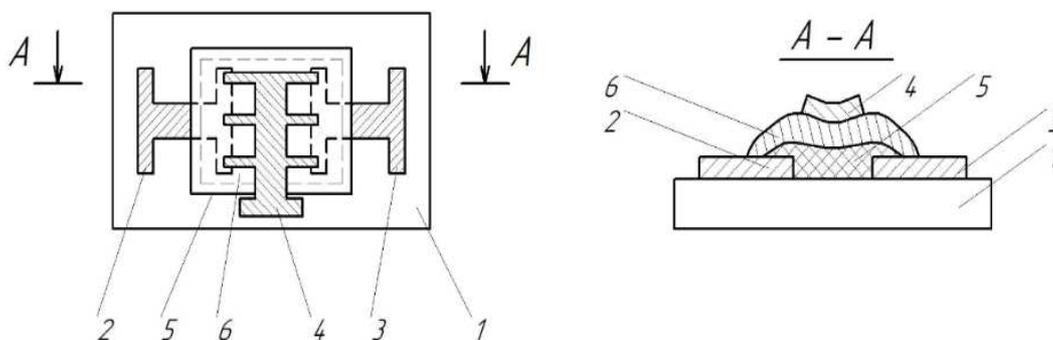


Рисунок 1 – Тонкопленочный датчик для детектирования составляющей газовой среды: 1 – подложка; 2, 3 – измерительные электроды; 4 – вспомогательный электрод; 5 – диэлектрическая пленка; 6 – полупроводниковая пленка

Влияние магнитного поля на характеристики полупроводниковых приборов осуществляется посредством воздействия магнитного поля на движение носителей заряда, которое проявляется эффектом Холла и магниторезистивным эффектом (эффектом Гаусса).

В основе эффекта Холла лежит взаимодействие между электрическими зарядами и магнитными полями. Любая заряженная частица,

движущаяся в магнитном поле, испытывает действие силы Лоренца, направление которой перпендикулярно направлению движения частицы и направлению магнитного поля. Величина этой силы прямо пропорциональна величине заряда e_- , скорости частицы v и индукции магнитного поля B [2]:

$$\vec{F} = e_- \cdot [\vec{v} \times \vec{B}].$$

Пусть имеется полупроводниковый образец прямоугольной формы длиной l , шириной b , толщиной d как указано на рисунке 2.

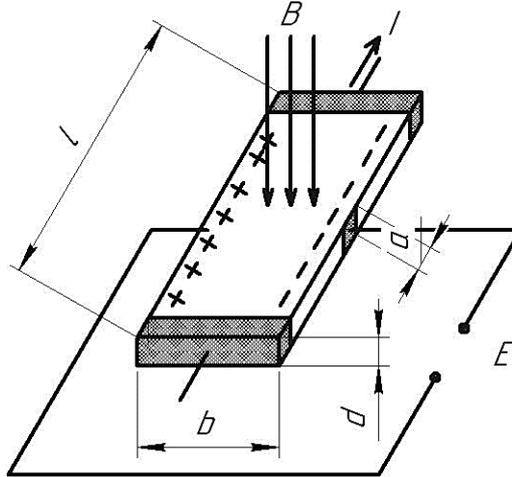


Рисунок 2 – Полупроводниковый образец в магнитном поле

Если вдоль образца пропустить электрический ток I , а перпендикулярно плоскости пластинки создать магнитное поле B , то действие силы Лоренца приводит к отклонению движущихся электронов от прямолинейной траектории, параллельной продольной оси пластинки, в сторону одной из боковых граней. В результате этого в пластине возникает поперечное электрическое поле (поле Холла) E_X между боковыми гранями пластины, которую характеризуют разностью потенциалов. Со стороны возникшего электрического поля на электроны будет действовать сила, направление которой противоположно направлению силы:

$$\vec{F}_e = e_- \cdot \vec{E}_X.$$

Разделение зарядов в образце будет продолжаться до тех пор, пока силы магнитного и электрического полей не уравновесят друг друга. Тогда напряженность поля Холла можно будет определить:

$$\vec{E}_X = \vec{v} \times \vec{B}.$$

Если скорость движения электронов постоянна, то

$$i = \frac{dq}{dt} = N \cdot \frac{e_-}{\Delta t},$$

где N – количество электронов, прошедших через некоторое сечение проводящего образца за время Δt

Если учесть, что

$$N = n_0 \cdot V = n_0 \cdot b \cdot l \cdot d$$

где n_0 – объемная концентрация электронов в материале, d – толщина пластинки в направлении магнитного поля, b – ширина пластинки в направлении поля E_X .

Тогда ток можно будет записать

$$i = N \cdot \frac{e_-}{\Delta t} = n_0 \cdot b \cdot l \cdot d \cdot \frac{e_-}{\Delta t} = \langle v = \frac{l}{\Delta t} \rangle = n_0 \cdot e_- \cdot b \cdot d \cdot v.$$

Если считать поле Холла однородным, то напряжения между боковыми гранями образца можно будет определить:

$$\vec{E} = \vec{E}_X \cdot l.$$

Если электрические и магнитные поля ортогональны, то напряжение будет определяться:

$$E = v \cdot B \cdot b = \frac{i}{n_0 \cdot e_- \cdot b \cdot d} \cdot B \cdot b = \frac{R_h}{d} \cdot i \cdot B,$$

где $R_h = \frac{1}{n_0 \cdot e_-}$ – коэффициент Холла, зависящий от природы вещества пластины.

В случае если направление вектора магнитной индукции и направление электрического тока не ортогональны, то ЭДС Холла описывается следующим выражением:

$$E = \frac{R_h}{d} \cdot i \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где α – угол между направлениями векторов магнитной индукции и электрического тока.

За счет эффекта Холла в полупроводниковой пластине будут одновременно присутствовать два ортогональных электрических поля: приложенное электрическое поле \vec{E} и поле Холла \vec{E}_X .

В пластинке возникает суммарное электрическое поле \vec{E}_Σ , направление которого определяется векторной суммой:

$$\vec{E}_\Sigma = \vec{E} + \vec{E}_X$$

Угол между векторами \vec{E} и \vec{E}_X носит название угол Холла. Значение угла Холла φ_X определяется из соотношения

$$\tan(\varphi_X) = \frac{E_X}{E} = \mu \cdot B$$

В слабом магнитном поле индукция будет небольшой, а значит угол φ_X будет мал. Следовательно, можно будет принять

$$\varphi_X \approx \tan(\varphi_X) = \mu \cdot B$$

Отклонение траектории движения зарядов от направления внешнего приложенного поля равносильно уменьшению длины свободного пробега носителей l_0 , в направлении приложенного поля:

$$\Delta l = l_0 - l_0 \cdot \cos \varphi_X$$

С учетом малости φ_X можно применить разложение Тейлора к функции $\cos \varphi_X$. Тогда в первом приближении

$$\Delta l \approx l_0 - l_0 \cdot \left(1 - \frac{\varphi_X^2}{2}\right) = l_0 \cdot \frac{\varphi_X^2}{2} = l_0 \cdot \frac{(\mu \cdot B)^2}{2}$$

Уменьшение длины свободного пробега зарядов будет эквивалентно уменьшению скорости движения зарядов v , что соответствует возрастанию сопротивления.

Разницу между сопротивлением при конечном магнитном поле и сопротивлением в отсутствие магнитного поля принято называть магнитосопротивлением. Можно утверждать

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\Delta \rho}{\rho_0} \sim \frac{(\mu \cdot B)^2}{2}$$

Тогда зависимость удельного сопротивления от магнитной индукции в малом диапазоне изменения индукции можно описать формулой

$$\rho(B) = \rho_0(1 + C \cdot \mu^2 \cdot B^2)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление при $B = 0$, C – коэффициент, зависящий от механизма рассеяния и геометрических размеров образца.

Таким образом определили зависимость сопротивления полупроводникового сенсора, который подвержен воздействию внешнего электромагнитного поля через гальваномагнитные эффекты в полупроводниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, Д. С. Измерительные схемы пленочных сенсоров / Д. С. Карпович, М. А. Анкуда // Химическая технология и техника : материалы 87-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января - 17 февраля 2023 г. - Минск : БГТУ, 2023. – С. 273-275.

2. Гуськов А.А. Физические явления и эффекты в электромагнитных полях: учеб. пособие / А.А. Гуськов; Нижегород. гос. тех. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2018. – 164 с.